

Vapor-phase growth method for a nitride semiconductor and a nitride semiconductor device

Patent Number: US2002185660

Publication date: 2002-12-12

Inventor(s): BIWA GOSHI (JP); DOI MASATO (JP); OOHATA TOYOHARU (JP); OKUYAMA HIROYUKI (JP)

Applicant(s):

Requested Patent: ☐ JP2002313742

Application Number: US20020126240 20020418

Priority Number(s): JP20010120615 20010419

IPC Classification: H01L31/0336

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

Nitride semiconductor devices and methods of producing same are provided. The present invention includes forming a nitride semiconductor layer on a base body of the nitride semiconductor under selective and controlled crystal growth conditions. For example, the crystal growth rate, the supply of crystal growth source material and/or the crystal growth area can be varied over time, thus resulting in a nitride semiconductor device with enhanced properties

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-313742

(P2002-313742A)

(43) 公開日 平成14年10月25日 (2002. 10. 25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 1
33/00		33/00	C 5 F 0 4 5
H 0 1 S 5/323	6 1 0	H 0 1 S 5/323	6 1 0 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2001-120615(P2001-120615)	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成13年4月19日 (2001. 4. 19)	(72) 発明者	琵琶 剛志 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	奥山 浩之 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(74) 代理人	100110434 弁理士 佐藤 勝

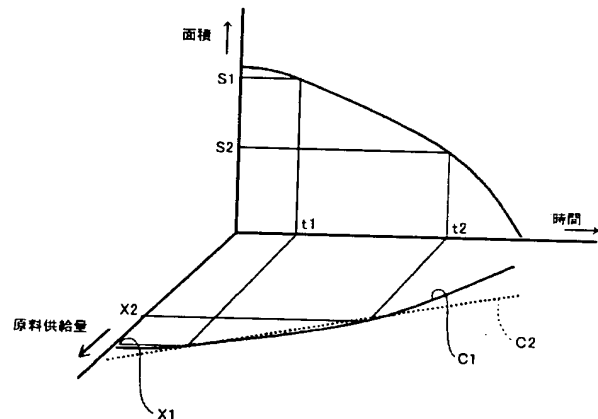
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体の気相成長方法及び窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 選択成長の際に生ずる成長層の頂上部では原料供給過多に起因する従来の問題を解決し、発光特性などの素子特性の優れた窒化物半導体素子を製造するための窒化物半導体を気相成長する方法と、それによって製造される窒化物半導体素子を提供する。

【解決手段】 選択成長によって成長する窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間) とした場合、時点 t_2 における窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における原料供給量 X_2 または成長速度 V_2 は、時点 t_1 における原料供給量 X_1 または成長速度 V_1 と同等若しくはより小さくされる。時間の経過と共に小さくなる窒化物半導体層の面積に応じて、原料供給量や成長速度が調整されることから、頂点部において原料の供給過多となることが未然に防止される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成する窒化物半導体の気相成長方法において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間) とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における原料供給量 X_2 は、時点 t_1 における原料供給量 X_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 2】 前記窒化物半導体層は In を含む混晶であることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 3】 前記窒化物半導体層を成長させる選択成長の後に、 ln を含む混晶層を成長させることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 4】 前記基体の主面とほぼ平行な面上に活性層を設けてなることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 5】 前記基体の主面と平行ではない斜面上に活性層を設けてなることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 6】 前記基体は窒化ガリウム系化合物半導体基板もしくは異種基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体層からなることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 7】 基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成して構成される窒化物半導体素子において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間) とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における原料供給量 X_2 は、時点 t_1 における原料供給量 X_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 8】 前記窒化物半導体層は活性層であることを特徴とする請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】 活性層が前記窒化物半導体層の成長後に形成されることを特徴とする請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 10】 当該窒化物半導体素子は発光素子若しくは電子素子の構造を有することを特徴とする請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 11】 前記基体の主面とほぼ平行な面上に活性層を設けてなることを特徴とする請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 12】 前記基体の主面と平行ではない斜面上

に活性層を設けてなることを特徴とする請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 13】 前記基体は窒化ガリウム系化合物半導体基板もしくは異種基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体層からなることを特徴とする請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 14】 基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成する窒化物半導体の気相成長方法において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間) とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における成長速度 V_2 は、時点 t_1 における成長速度 V_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 15】 前記窒化物半導体層は ln を含む混晶であることを特徴とする請求項 14 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 16】 前記窒化物半導体層を成長させる選択成長の後に、 ln を含む混晶層を成長させることを特徴とする請求項 14 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 17】 前記基体の主面とほぼ平行な面上に活性層を設けてなることを特徴とする請求項 14 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 18】 前記基体の主面と平行ではない斜面上に活性層を設けてなることを特徴とする請求項 14 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 19】 前記基体は窒化ガリウム系化合物半導体基板もしくは異種基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体層からなることを特徴とする請求項 14 記載の窒化物半導体の気相成長方法。

【請求項 20】 基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成して構成される窒化物半導体素子において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間) とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における成長速度 V_2 は、時点 t_1 における成長速度 V_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 21】 前記窒化物半導体層は活性層であることを特徴とする請求項 20 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 22】 活性層が前記窒化物半導体層の成長後に形成されることを特徴とする請求項 20 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 23】 当該窒化物半導体素子は発光素子若しくは電子素子の構造を有することを特徴とする請求項 2

0記載の窒化物半導体素子。

【請求項24】 前記基体の主面とほぼ平行な面上に活性層を設けてなることを特徴とする請求項20記載の窒化物半導体素子。

【請求項25】 前記基体の主面と平行ではない斜面上に活性層を設けてなることを特徴とする請求項20記載の窒化物半導体素子。

【請求項26】 前記基体は窒化ガリウム系化合物半導体基板もしくは異種基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体層からなることを特徴とする請求項20記載の窒化物半導体素子。

【請求項27】 Inを含む窒化物半導体層を選択的に気相成長させる際に、基体主面に垂直な方向の成長速度を毎時 $1\mu\text{m}$ 以下とすることを特徴とする窒化物半導体の気相成長方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体を基体上に気相成長させる窒化物半導体の気相成長方法とその気相成長方法によって形成される半導体発光ダイオードや半導体レーザー、その他の電子素子などの窒化物半導体素子に関し、特に基体上に成長阻害膜を形成し、その成長阻害膜を開口した開口部からの結晶成長によって窒化物半導体層が形成される窒化物半導体の気相成長方法及び窒化物半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】Ga₂N、AlGa₂N、GaInNなどの窒化物（ナイトライド）系III-V族化合物半導体は、その禁制帯幅が1.8eVから6.2eVに亘っており、赤色から紫外線の発光が可能な発光素子の実現が理論上可能であるため、近年注目を集めている。

【0003】この窒化物系III-V族化合物半導体により発光ダイオード（LED）や半導体レーザーを製造する場合には、Ga₂N、AlGa₂N、GaInNなどを多層に積層し、発光層（活性層）をn型クラッド層およびp型クラッド層によりはさんだ構造を形成する必要がある。このような発光ダイオードまたは半導体レーザーとして、発光層をGaInN/GaN量子井戸構造またはGaInN/AlGa₂N量子井戸構造としたものがある。

【0004】窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体の気相成長技術においては格子整合する基板や低転位密度の基板が存在しないために、従来よりサファイアなどの基板表面上に900℃以下の低温でAlNもしくはAl_{1-x}Ga_xN（xは0以上1未満）低温バッファ層を堆積し、その後窒化ガリウム系化合物半導体を成長し格子不整合に起因する転位を低減する技術がある。このような技術は、例えば、特開昭63-188938号公報や特公平8-8217号公報に開示されるものが

あり、これらの技術を使用することで窒化ガリウム系化合物半導体層の結晶性およびモフォロジーを改善できる特徴がある。

【0005】さらに低転位密度の高品質結晶を得る技術としては、一旦第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を堆積した後に酸化珪素や窒化珪素などからなる窒化ガリウム系化合物半導体の成長を阻害する材料で保護膜を形成し、その保護膜で覆われていない領域から第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を面内方向（横方向）に成長することで、基板界面から垂直に伸びる貫通転位の伝播を妨げる技術がある（例えば、特開平10-312971号公報、特開平11-251253号公報参照）。また、同様な技術としては一旦第1の窒化ガリウム系化合物半導体を成長した後に、リアクティブイオンエッチング装置（以下、RIE）などを用いてその膜を選択的に除去し、その後成長装置内で残された結晶から第2の窒化ガリウム系化合物半導体選択的に成長することで貫通転位密度を低減する技術がある（例えば、MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 4S1, G3, 38 (1999)）。これらの技術を使用することで 10^6cm^{-2} 程度までの転位密度を有する結晶膜が得られ、半導体レーザーの高寿命化などが実現されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このような選択成長技術によって窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させる場合では、選択成長部はファセットとよばれる成長速度の遅い安定面を斜面に有した3次元的な成長をする。例えば、基板主面をc面とするサファイア基板に下地層を形成した後、その表面を成長阻害膜である酸化珪素膜で覆い、その酸化珪素膜に設けた開口部から原料ガスの供給によって選択的に窒化ガリウム層を成長させた場合では、斜面を伴う例えば六角錐状のピラミッド形状の結晶成長が見られ、そのピラミッド形状の斜面はS面などの結晶面によって覆われることになる。

【0007】ところが、一般に斜面部は成長速度が遅いため、供給されたIII族原料は表面に堆積せずにマイグレーション現象を示す。逆にピラミッド形状の結晶層の頂上部では原料供給過多となり、極端に成長速度の速い成長をする。このため頂点部は点欠陥などの欠陥が多く結晶性もよくない。また、平坦な成長もしないため、特に頂上部に活性層やpn接合を有するような半導体デバイスを作製する場合にはその性能を著しく低下させることになる。

【0008】そこで、本発明は上述の技術的な課題に鑑み、選択成長の際に生ずる成長層の頂上部では原料供給過多に起因する従来の問題を解決し、発光特性などの素子特性の優れた窒化物半導体素子を製造するための窒化物半導体を気相成長する方法と、それによって製造される窒化物半導体素子を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決するために、本発明の窒化物半導体の気相成長方法は、基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成する窒化物半導体の気相成長方法において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間)とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における原料供給量 X_2 は、時点 t_1 における原料供給量 X_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする。

【0010】この窒化物半導体の気相成長方法においては、窒化物半導体層は $1n$ を含む混晶とすることができ、或いは窒化物半導体層を成長させる選択成長の後に $1n$ を含む混晶層を成長させるようにすることもできる。また、活性層を設ける際には、基体の主面とほぼ平行な面上に設けることもでき、基体の主面と平行ではない斜面上に設けることもできる。基体は窒化ガリウム系化合物半導体基板もしくは異種基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体層を有する構造であっても良い。

【0011】選択成長においては、時間の経過と共に成長する窒化物半導体層の面積が小さくなる傾向があり、マスクの開口比の逆数に比例して開口部への原料供給が多くなるとともに、安定面を側面にもつことで頂点部は 111 族原料供給過多となる傾向がある。そこで窒化物半導体層、特に頂点部の面積に応じて原料供給量を調整することで、頂点部の結晶性や平坦性を向上させることが可能となる。

【0012】本発明の他の窒化物半導体の気相成長方法は、基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成する窒化物半導体の気相成長方法において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間)とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における成長速度 V_2 は、時点 t_1 における成長速度 V_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする。

【0013】この窒化物半導体の気相成長方法は、先の本発明の窒化物半導体の気相成長方法と同様に、選択成長では時間の経過と共に成長する窒化物半導体層の面積が小さくなる傾向があり、窒化物半導体層の安定面を側面にもつことで頂点部に近づくほど成長速度も極端に速くなり、点欠陥が多くなる。そこで、頂点部の面積に応じて成長速度を調整することで、頂点部の結晶性や平坦性を向上させることができる。

【0014】更に本発明は前記窒化物半導体の気相成長方法を用いて作成される窒化物半導体素子を含むもので

あり、本発明の窒化物半導体素子は、基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成して構成される窒化物半導体素子において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間)とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における原料供給量 X_2 または成長速度 V_2 は、時点 t_1 における原料供給量 X_1 または成長速度 V_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする。

【0015】本発明の窒化物半導体素子は、例えば発光素子若しくは電子素子の構造を有し、窒化物半導体層は $1n$ を含む混晶とすることができ、或いは窒化物半導体層を成長させる選択成長の後に $1n$ を含む混晶層を成長させても良い。また、活性層を設ける際には、基体の主面とほぼ平行な面上に設けることもでき、基体の主面と平行ではない斜面上に設けることもできる。基体は窒化ガリウム系化合物半導体基板もしくは異種基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体層を有する構造であっても良い。

【0016】この窒化物半導体素子においても、前述の窒化物半導体素子と同様に、選択成長の際に窒化物半導体層、特に頂点部の面積に応じて原料供給量や成長速度を調整することで、頂点部の結晶性や平坦性を向上させることが可能となる。本発明は選択成長を用いる半導体素子の製造に広く適用できるが、特に選択成長にて形成される3次元構造を有する発光素子や電子素子の作製時に有用である。更に欠陥も少なく平坦な層を形成できるので、活性層や活性層成長前の層に適用することが望ましい。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明の好適な実施形態について図面を参照しながら説明する。本発明の窒化物半導体の気相成長方法は、基体上に選択成長により窒化物半導体層を形成する窒化物半導体の気相成長方法において、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間)とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における原料供給量 X_2 若しくは成長速度 V_2 は、時点 t_1 における原料供給量 X_1 若しくは成長速度 V_1 と同等若しくはより小さくされることを特徴とする。

【0018】まず、本発明の窒化物半導体の気相成長方法の前提となる選択成長について説明すると、基体上に開口部を有する成長阻害膜を形成し、その状態で反応がに基体ごと送り込み、所要のキャリアガス及び原料ガスを供給して成長阻害膜上には窒化物半導体層を堆積せず

に開口部に窒化物半導体層を選択的に形成する方法である。選択成長を行うためには、開口部を有する成長阻害膜をマスクとして形成する方法に限らず、

【0019】下地成長層や基板の一部を選択的に除去することを利用したりしても良い。

【0020】ここで前記基板は窒化ガリウム系化合物半導体基板などの窒化物半導体基板もしくはサファイア基板などの基板とその基板上に成長した窒化物半導体層からなるように構成することができ、後者のように窒化物半導体層を基板上に成長させる場合では、当該基板として用いることができるのは、サファイア (Al_2O_3 、A面、R面、C面を含む。) SiC (6H、4H、3Cを含む。) GaN、Si、ZnS、ZnO、AlN、LiMgO、GaAs、 $MgAl_2O_4$ 、InAlGa_N などからなる基板であり、好ましくはこれらの材料からなる六方晶系基板または立方晶系基板であり、より好ましくは六方晶系基板である。例えば、サファイア基板を用いる場合では、窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体の材料を成長させる場合に多く利用されているC面を主面としたサファイア基板を用いることができる。この場合の基板主面としてのC面は、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。

【0021】基板の一部として窒化物半導体層が形成される場合、窒化物半導体層を形成する前に、下地成長層を基板上に形成することが好ましい。この下地成長層は例えば窒化ガリウム層や窒化アルミニウム層からなり、下地成長層は低温バッファ層と高温バッファ層との組合せ或いはバッファ層と結晶種として機能する結晶種層との組合せからなる構造であっても良い。この下地成長層は、種々の気相成長法で形成することができ、例えば有機金属化合物気相成長法 (MOCVD法) や分子線エビタキシー法 (MBE法)、ハイドライド気相成長法 (HVPE法) などの気相成長法を用いることができる。

【0022】マスクを用いた選択成長の場合、このような基板上には成長阻害膜が形成される。成長阻害膜は例えばシリコン酸化膜やシリコン窒化膜などから構成され、この成長阻害膜で覆われた領域において窒化物半導体層の堆積を防ぐ機能を有し、成長阻害膜に設けられた開口部では、その底部に前記基板の表面が臨んで、その基板表面から開口部の範囲内で結晶成長が進められる。開口部の形成は、フォトリソグラフィ技術によって行われ、開口部の形状はストライプ状、円形状、六角形状などの多角形状などであるが、特に限定されるものではない。開口部を10 μ m程度の円形 (或いは辺が1-100方向の六角形、または辺が11-20方向の六角形など) にすることでその約2倍程度の選択成長領域まで簡単に作製できる。またS面が基板と異なる方向であれば転位を曲げる効果、および転位を遮蔽する効果があるために、転位密度の低減にも役立つ。

【0023】基板上の成長阻害膜に開口部を形成したと

ころで、選択成長により窒化物半導体層が選択的に成長される。窒化物半導体層としては、ウルツ鉱型の結晶構造を有する半導体材料を用いることが好ましい。このような窒化物半導体層としては、例えばIII族系化合物半導体やBeMgZnCdS系化合物半導体を用いることができ、更には窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体、窒化アルミニウム (AlN) 系化合物半導体、窒化インジウム (InN) 系化合物半導体、窒化インジウムガリウム (InGa_N) 系化合物半導体、窒化アルミニウムガリウム (AlGa_N) 系化合物半導体を好ましくは形成することができ、特に窒化ガリウム系化合物半導体が好ましい。なお、本発明において、InGa_N、AlGa_N、GaNなどは必ずしも、3元混晶のみ、2元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えばInGa_Nでは、InGa_Nの作用を変化させない範囲での微量のAl、その他の不純物を含んでいても本発明の範囲であることはいうまでもない。

【0024】この結晶層の成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができ、例えば有機金属化合物気相成長法 (MOCVD (MOVPE) 法) や分子線エビタキシー法 (MBE法) などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法 (HVPE法) などを用いることができる。その中でもMOVPE法によると、迅速に結晶性の良いものが得られる。MOVPE法では、GaソースとしてTMG (トリメチルガリウム)、TEG (トリエチルガリウム)、AlソースとしてはTMA (トリメチルアルミニウム)、TEA (トリエチルアルミニウム)、Inソースとしては、TMI (トリメチルインジウム)、TEI (トリエチルインジウム) などのアルキル金属化合物が多く使用され、窒素源としてはアンモニア、ヒドラジンなどのガスが使用される。また、不純物ソースとしてはSiであればシランガス、Geであればゲルマンガス、MgであればCp2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)、ZnであればDEZ (ジエチルジシラン) などのガスが使用される。MOCVD法では、これらのガスを例えば600℃以上に加熱された基板の表面に供給して、ガスを分解することにより、InAlGa_N系化合物半導体をエビタキシャル成長させることができる。

【0025】選択成長によって、典型的には窒化物半導体層はファセットを伴った構造を呈する。例えば、基板若しくは基板の主面がC+面を有している場合では、窒化物半導体層の結晶の傾斜面としてS面を安定面として形成することが可能であり、このS面は選択成長した際に見られる比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では(1-101)である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存在するが、本明細書においては、特に断らない場合は、C+面GaN上にS+面を成長しており、これをS面として説明している。なお、S面についてはS+面が安定

面である。またC+面の面指数は(0001)である。このS面については、前述のように窒化ガリウム系化合物半導体で窒化物半導体層を構成した場合には、S面上、GaからNへのボンド数が2または3とC-面の次に多くなる。ここでC-面はC+面の上には事実上得ることができないので、S面でのボンド数は最も多いものとなる。例えば、C面を主面に有するサファイア基板に窒化物を成長した場合、一般にウルツ鉱型の窒化物の表面はC+面になるが、選択成長を利用することでS面を形成することができ、C面に平行な面では脱離しやすい傾向をもつNのボンドがGaから一本のボンドで結合しているのに対し、傾いたS面では少なくとも一本以上のボンドで結合することになる。従って、実効的にV/III比が上昇することになり、積層構造の結晶性の向上に有利である。また、基板と異なる方位に成長すると基板から上に伸びた転位が曲がることもあり、欠陥の低減にも有利となる。また、選択成長マスクを用いて選択成長する場合には横方向成長させ窓領域より拡大した形状にすることができ、このようなマイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長をした方が貫通転位を避けやすくなり、転位が減ることがわかっている。またこのような横方向成長により発光領域も増大し、さらに電流の均一化、電流集中の回避、および電流密度の低減を図ることができる。

【0026】選択成長によって形成される窒化物半導体層はS面又はS面に実質的に等価な面などを伴ったファセット構造を有するが、典型的には成長が進む程、基体主面に平行な面での面積が段々と小さくなるように成長する。すなわち、窒化物半導体層は斜面を伴って角錐状或いはピラミッド状に成長するため、頂点部に近づくほど基体主面に平行な面での面積が段々と小さくなる。ここで頂点部とは、斜面同士が交差する尖頭部分であり、ストライプ状の開口部からは稜線となるような領域であり、また、六角錐状の窒化物半導体層を成長させる場合は最も高さが有る領域である。

【0027】本発明の窒化物半導体の気相成長方法においては、前記選択成長によって成長する前記窒化物半導体層の基体主面にほぼ平行な面の面積を $S(t)$ (t は時間)とした場合、時点 t_2 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_2)$ が前記時点 t_2 よりも以前の時点 t_1 における前記窒化物半導体層の面積 $S(t_1)$ と同等若しくはより小さくされ、且つ時点 t_2 における原料供給量 X_2 若しくは成長速度 V_2 は、時点 t_1 における原料供給量 X_1 若しくは成長速度 V_1 と同等若しくはより小さくされる。換言すれば、選択成長の際に時間が進んで窒化ガリウム層などの窒化物半導体層の面積が小さくなってきた場合には、それに応じて原料供給量若しくは成長速度を低減するように制御を行う。このような制御によって、窒化物半導体層の頂点部付近における原料供給量が過剰な状態が緩和されることになり、その結果、

頂点部付近での結晶性を良好なものに維持できる。原料供給量 X_1 、 X_2 はIII族原子の原料ガスの供給量であり、例えばGaソースとしてはTMG(トリメチルガリウム)、TEG(トリエチルガリウム)、AlソースとしてはTMA(トリメチルアルミニウム)、TEA(トリエチルアルミニウム)、Inソースとしては、TMI(トリメチルインジウム)、TEI(トリエチルインジウム)などのアルキル金属化合物のガス供給量である。

【0028】図1は窒化物半導体層を選択成長によって成長する場合の時間 t と、窒化物半導体層の面積 S と、制御される原料供給量 X の関係を図示したものである。図1に示すように、窒化物半導体層は時点 t_1 ではその面積 S は S_1 であり、それから時間の経過があった時点 t_2 では S_1 より小さな面積 S_2 となる。ここで窒化物半導体層の面積 S は、基体若しくは基板の主面に平行な面での面積であり、選択成長によって段々と小さくなる傾向を示す面である。図1では、時間 t の進行に応じて面積 S はその2次曲線を描くようにして収束している。本発明の窒化物半導体の気相成長方法の一例では、その面積 S の変化に応じて、原料供給量 X を変化させている。すなわち、時点 t_1 では大きな面積 S_1 であるため、トリメチルガリウムなどの原料供給量 X_1 も大きめの値であるが、時点 t_1 よりも時間が経過した時点 t_2 では面積 S が面積 S_1 よりは小さな面積 S_2 であるため、時点 S_2 でのトリメチルガリウムなどの原料供給量 X_2 も原料供給量 X_1 の値よりは低減された値となる。

【0029】図1において原料供給量の変化曲線 C_1 は2次曲線を描くように変化し、一例として原料供給量 X は時間の2次関数となるように制御されるが、これに限定されずに例えば原料供給量 X の変化は直線 C_2 のような線形な変化であっても良く、指数関数的な変化や段階的な変化を以て制御するようにすることも可能である。また、このような原料供給量の制御は連続的な制御とされるが、断続的な制御によって原料供給量を低下させていくようにしても良い。

【0030】図2は窒化物半導体層を選択成長によって成長する場合の時間 t と、窒化物半導体層の面積 S と、制御される成長速度 V の関係を図示したものである。図1に示した窒化物半導体の気相成長方法ではその面積 S の変化に応じて原料供給量 X を変化させているが、図2の例では窒化物半導体層の面積 S の変化に応じて成長速度 V を変化させている。図1に示した窒化物半導体の気相成長方法と同様に、時点 t_1 では大きな面積 S_1 であるため成長速度 V_1 も大きな値とされるが、時点 t_1 よりも時間が経過した時点 t_2 では面積 S が面積 S_1 よりは小さな面積 S_2 であるため、時点 S_2 での成長速度 V_2 は成長速度 V_1 の値よりは低減された値となる。

【0031】図2において成長速度 V の変化曲線 C_1 は2次曲線を描くように変化し、図1に示した窒化物半

導体の気相成長方法と同様に、一例として成長速度 V は時間の2次関数となるように制御されるが、これに限定されずに例えば成長速度 V の変化は直線C12のような線形な変化であっても良く、指数関数的な変化や段階的な変化を以って制御するようにすることも可能であるこのような制御は連続的な制御とされるが、断続的な制御によって成長速度を低下させていくようにしても良い。

【0032】また、図1の原料供給量による制御と、図2の成長速度の制御について説明しているが、これに窒化物半導体層の成長温度による制御などを加えても良く、さらに原料供給量や成長温度による制御は、結果として成長速度の制御としての制御ともなり得るものである。

【0033】本発明の窒化物半導体の気相成長方法では、原料供給量 X や成長速度 V の変化量($X1/X2$ 、 $V1/V2$)は、面積比($S1/S2$)に応じて、その $1/10 \sim 30$ 倍までの範囲が好ましく、さらには $0.3 \sim 10$ 倍までの範囲が好ましい。 $1/10$ より変化量($X1/X2$ 、 $V1/V2$)が小さいと成長速度が低すぎて成長しないなどの問題が発生し、逆に変化量($X1/X2$ 、 $V1/V2$)が 30 倍より大きいと頂点部での原料供給量や成長速度が大きくなり過ぎて結晶性が劣化する。

【0034】本発明の窒化物半導体の気相成長方法は、窒化物半導体層は In を含む混晶である場合や、窒化物半導体層を成長させる選択成長の後に In を含む混晶層を成長させる場合に特に有効となる。特に In を含む混晶では、組成、組成の均一性、窒素空孔などの欠陥などの結晶性がより成長速度に敏感なので、本発明のように制御することで、良好な結晶性の In を含む混晶層を形成できる。また、 In を含む混晶についての組成、組成の均一性、窒素空孔などの欠陥などの結晶性は下地の結晶性にも敏感であり、 In を含む層の手前の層に、本発明のように制御することで良好な結晶性の In を含む混晶層を形成できることになる。

【0035】また、本発明の窒化物半導体の気相成長方法の一例としては、 In を含む窒化物半導体層を選択的に気相成長させる際に、基板主面に垂直な方向の成長速度を毎時 $1 \mu m$ 以下とすることが可能である。選択成長によって In を含む窒化物半導体層を成長させる場合、基板主面に垂直な方向の成長速度を毎時 $1 \mu m$ 以下とすることで低速度な成長が進められ、頂点部において特に結晶性の劣化というような問題が生じないことになる。

【0036】本発明の窒化物半導体の気相成長方法について、それぞれ実施形態を参照しながら説明する。なお、図3から図6は第1の実施形態のストライプ型マスクを用いて選択成長を行う例であり、図7から図10は第2の実施形態の六角形型マスクを用いて選択成長を行う例であり、図11はC面上に $InGa$ N活性層を有す

る半導体レーザーの例である。

【0037】[第1の実施形態] 本実施形態の窒化物半導体の気相成長方法はストライプ型マスクを用いて選択成長を行う例であり、図3に示すように、図示しない有機金属気相成長装置内に2インチの主面をc面とするサファイア基板10を設置し、反応炉内にキャリアガスとして例えば H_2 と N_2 との混合ガスを流し、例えば $1050^\circ C$ で20分間熱処理を行うことによりそのサファイア基板10の表面をサーマルクリーニングする。次いで、基板温度を例えば $510^\circ C$ に下げた後、反応炉内にN原料としてのアンモニア(NH_3)およびGa原料としてのトリメチルガリウム($TMGa$ 、 $Ga(CH_3)_3$)を供給し、主面をc面とするサファイア基板10上にGa N バッファ層を成長させる。このGa N バッファ層はAl N バッファ層であっても良い、低温バッファ層を形成した後、約 $1000^\circ C$ でアンドープのGa N 層とシリコン(Si)ドープのn型Ga N 層からなるGa N 層12を $2 \mu m$ 成長させる。シリコンの原料はシランガスである。

【0038】Ga N 層12を形成した後、全面に成長阻害膜としてシリコン酸化膜14を形成し、図4に示すように、そのシリコン酸化膜14の一部をストライプ状に開口して開口部16を形成する。この開口部16の開口幅は例えば $8 \mu m$ であり、この開口部16以外の領域は成長阻害膜であるシリコン酸化膜14に被覆される。ストライプ状の開口部16は、フォトリソグラフィ技術によって形成される。

【0039】続いて、再び有機金属気相成長装置内にサファイア基板10を設置して、図5に示すように、約 $1020^\circ C$ に昇温し、反応炉内にキャリアガスとして例えば H_2 と N_2 との混合ガスを流し、N原料としてのアンモニア(NH_3)およびGa原料としてのトリメチルガリウム($TMGa$ 、 $Ga(CH_3)_3$)を供給することで、選択成長によるGa N 層18を成長させる。この選択成長の際にはGa N 層18が開口部16から基板主面に垂直な方向及び斜面を開口部16から外側に形成するように成長され、Ga N 層18の開口部16に沿って斜面(S面)が形成される。選択成長によるGa N 層18の成長の途中では、斜面のS面に挟まれた領域が、基板主面と平行な上面19を呈し、ある時点においてその開口幅は $6 \mu m$ 程度とされる。この時、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム($TMGa$)は、約 60μ モル/分とされる。

【0040】このような選択成長が続けられ、選択成長によるGa N 層18の高さは徐々に高くされるが、およそ上面19の幅が $2 \mu m$ となったところで、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム($TMGa$)のガス供給量を約 20μ モル/分まで低下させる。その結果、従来では選択成長は常にトリメチルガリウムガスを約 60μ モル/分とされて、頂点部の結晶性が劣化していた

が、本実施形態ではガス供給量を約 $20\mu\text{mol}/\text{分}$ まで低下させているために、良好な結晶性が得られている。

【0041】ガス供給量を頂点部付近で低下させながらGa_N層18を形成した後、トリメチルガリウムの供給をいったん停止し、引き続き成長温度を 730°C まで降温しながらキャリアガスをすべて窒素ガスに切り替えて、Ga原料としてトリメチルガリウム、In原料としてトリメチルインジウムを供給して 30\AA のInGa_NからなるInGa_N活性層をGa_N層18上に積層する。InGa_N活性層の形成後、Ga原料としてトリメチルガリウムとMg原料としてメチルシクロペンタジエニルマグネシウムを供給しながら昇温し、マグネシウムドーパのp型Ga_N層を形成し、 800°C 窒素ガス中でのアニールを行い、Ti/Al電極からなるn側電極、Ni/Pt/Au電極17からなるp側電極をそれぞれ形成して半導体発光ダイオードを完成する。

【0042】本実施形態では、当初約 $60\mu\text{mol}/\text{分}$ の成長速度で選択成長されていたGa_N層18がおおよそ上面19の幅が $2\mu\text{m}$ となったところ、即ち面積S(t)が小さくなったところで、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム(TMGa)のガス供給量を約 $20\mu\text{mol}/\text{分}$ まで低下される。このためGa_N層18の頂点部近傍では、原料ガスの供給が過多になることが未然に防止され、その頂点部近傍での結晶性を良好なものにすることができる。

【0043】〔第2の実施形態〕本実施形態の窒化物半導体の気相成長方法は六角形型マスクを用いて選択成長を行う例であり、図7から図10を参照しながら本工程を説明する。第1の実施形態と同様に、図示しない有機金属気相成長装置内に2インチの主面をc面とするサファイア基板20を設置し、該サファイア基板20の表面をサーマルクリーニングした後、反応炉内にN原料としてのアンモニア(NH₃)およびGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa、Ga(CH₃)₃)を供給し、主面をc面とするサファイア基板20上にGa_Nバッファ層を成長させる。このGa_Nバッファ層はAl_Nバッファ層であっても良い、低温バッファ層を形成した後、約 1000°C でアンドープのGa_N層とシリコン(Si)ドーパのn型Ga_N層からなるGa_N層22を $2\mu\text{m}$ 成長させる。シリコンの原料はシランガスである。

【0044】Ga_N層22を形成した後、全面に成長阻害膜としてシリコン酸化膜24を形成し、図8に示すように、そのシリコン酸化膜24の一部を六角形状に開口して開口部26を形成する。この開口部26の開口径は例えば $8\mu\text{m}$ であり、この開口部26以外の領域は成長阻害膜であるシリコン酸化膜24に被覆される。六角形状の開口部26は、フォトリソグラフィ技術によって形成される。

【0045】続いて、再び有機金属気相成長装置内にサ

ファイア基板20を設置して、図9に示すように、約 1020°C に昇温し、反応炉内にキャリアガスとして例えばH₂とN₂との混合ガスを流し、N原料としてのアンモニア(NH₃)およびGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa、Ga(CH₃)₃)を供給することで、選択成長によるGa_N層28を成長させる。この選択成長の際にはGa_N層18が開口部26から基板主面に垂直な方向及び斜面を開口部26から外側に形成するように成長され、Ga_N層28の六角形状の開口部26に沿って斜面(S面)が形成される。選択成長によるGa_N層28の成長の途中では、斜面のS面に挟まれた領域が、基板主面と平行な上面29を呈し、ある時点においてその開口径は約 $7\mu\text{m}$ 程度とされる。この時、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム(TMGa)は、約 $60\mu\text{mol}/\text{分}$ とされる。

【0046】このような選択成長が続けられ、選択成長によるGa_N層28の高さは徐々に高くされるが、おおよそ上面29の幅が $2\mu\text{m}$ となったところで、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム(TMGa)のガス供給量を約 $15\mu\text{mol}/\text{分}$ まで低下させる。その結果、従来では頂点部の結晶性が劣化していたが、本実施形態ではガス供給量を約 $15\mu\text{mol}/\text{分}$ まで低下させているために、良好な結晶性が得られている。

【0047】ガス供給量を頂点部付近で低下させながらGa_N層28を形成した後、トリメチルガリウムの供給をいったん停止し、引き続き成長温度を 730°C まで降温しながらキャリアガスをすべて窒素ガスに切り替えて、Ga原料としてトリメチルガリウム、In原料としてトリメチルインジウムを供給して 30\AA のInGa_NからなるInGa_N活性層をGa_N層28上に積層する。InGa_N活性層の形成後、Ga原料としてトリメチルガリウムとMg原料としてメチルシクロペンタジエニルマグネシウムを供給しながら昇温し、マグネシウムドーパのp型Ga_N層を形成し、 800°C 窒素ガス中でのアニールを行い、Ti/Al電極からなるn側電極、Ni/Pt/Au電極17からなるp側電極をそれぞれ形成して半導体発光ダイオードを完成する。

【0048】本実施形態では、当初約 $60\mu\text{mol}/\text{分}$ の成長速度で選択成長されていたGa_N層28がおおよそ上面29の径が $2\mu\text{m}$ となったところ、即ち面積S(t)が小さくなったところで、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム(TMGa)のガス供給量を約 $15\mu\text{mol}/\text{分}$ まで低下される。このためGa_N層28の頂点部近傍では、原料ガスの供給が過多になることが未然に防止され、その頂点部近傍での結晶性を良好なものにすることができる。

【0049】〔第3の実施形態〕図11はC面上にInGa_N/Ga_Nの多重量子井戸(MQW)型活性層を有する半導体レーザーの例である。第1の実施形態と同様にして、例えば 1050°C でC面を主面とするサファイ

基板30のサーマルクリーニングを行った後、例えば510℃の成長温度でGa_{0.5}N_{0.5}バッファ層若しくはAl_{0.5}N_{0.5}バッファ層を成長させる。このようなGa_{0.5}N_{0.5}バッファ層を形成した後、成長温度を約1020℃まで上昇させた後、図示しないアンドープのGa_{0.5}N_{0.5}層を形成し、シリコン(Si)ドーパのn型Ga_{0.5}N_{0.5}層31を2μm成長させる。シリコンの原料はシランガスである。

【0050】シリコン(Si)ドーパのn型Ga_{0.5}N_{0.5}層31を形成した後、全面に成長阻害膜としてシリコン酸化膜34を形成し、そのシリコン酸化膜34の一部をストライプ状に開口して開口部を形成する。この開口部の開口幅は例えば約8μmであり、この開口部以外の領域は成長阻害膜であるシリコン酸化膜34に被覆される。ストライプ状の開口部は、フォトリソグラフィ技術によって形成される。ストライプ状の開口部の形成後、再び有機金属気相成長装置内にサファイア基板30を設置して、約1020℃に昇温し、反応炉内にキャリアガスとして例えばH₂とN₂との混合ガスを流し、N原料としてのアンモニア(NH₃)およびGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa、Ga(CH₃)₃)を供給することで、選択成長によるGa_{0.5}N_{0.5}層32を約60μmol/分で成長させる。この選択成長の際にはGa_{0.5}N_{0.5}層32が開口部から基板主面に垂直な方向及び斜面を開口部から外側に形成するように成長され、開口部に沿ってGa_{0.5}N_{0.5}層32の斜面(S面)が形成される。選択成長によるGa_{0.5}N_{0.5}層32の成長の途中では、およそ上面の幅が2μmとなったところで、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム(TMGa)のガス供給量が約20μmol/分まで低下され、その結果、頂点部の結晶性が良好となる。

【0051】続いて、反応炉内にN原料としてのNH₃およびGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa、Ga(CH₃)₃)に加えてAl原料としてのトリメチルアルミニウム(TMAI、Al(CH₃)₃)を供給し、n型AlGa_{0.5}N_{0.5}クラッド層36を成長させ、反応炉内へのトリメチルガリウム(TMGa)およびトリメチルアルミニウム(TMAI)の供給を停止し、NH₃の供給はそのまま続けながら、反応炉内に再びトリメチルガリウム(TMGa)を供給してn型Ga_{0.5}N_{0.5}ガイド層37を成長させる。

【0052】次に、反応炉内にN原料としてのNH₃に加えてGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa)およびIn原料としてのトリメチルインジウム(TMIn)を供給する状態と、In原料としてのトリメチルインジウム(TMIn)の供給を止めながらGa原料としてのトリエチルガリウム(TEGa)の供給を続ける状態とを繰り返して、活性層38をInGa_{0.5}N_{0.5}(30Å)/Ga_{0.5}N_{0.5}(50Å)の3周期程度の多重量子井戸(MQW)構造にする。ここで活性層38のIn組成は例えば約15%に設定され、この活性層38のC面方向

(基板主面に対する垂直方向)の成長速度が0.2μm/時間となるように設定する。このように活性層38の成長速度を低減することで、活性層38の量子井戸幅が均一で結晶性も良くなり、閾値低減や効率の向上が期待できることになる。

【0053】多重量子井戸(MQW)構造の活性層38を形成した後、NH₃の供給はそのまま続けながら、反応炉内に再びトリメチルガリウム(TMGa)を供給してマグネシウムドーパのp型Ga_{0.5}N_{0.5}ガイド層39を成長させる。更に反応炉内にN原料としてのNH₃およびGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa)に加えてAl原料としてのトリメチルアルミニウム(TMAI)を供給し、p型AlGa_{0.5}N_{0.5}クラッド層40を成長させ、さらにトリメチルアルミニウム(TMAI)の供給を停止しながらGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa)とN原料としてのNH₃を供給してp型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層41を形成する。

【0054】p型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層41を形成した後、溝を形成してn型窒化物半導体層であるn型Ga_{0.5}N_{0.5}層31の面を露出し、その現れたn型Ga_{0.5}N_{0.5}層31の面にn側電極としてAl/Ti電極43が形成され、最上層のp型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層41上にはNi/Pt/Au電極42が形成される。

【0055】このような製法により製造される本実施形態のGa_{0.5}N_{0.5}系半導体レーザーは、選択成長されるGa_{0.5}N_{0.5}層32の上面の面積S(t)が小さくなったところで、III族の原料ガスであるトリメチルガリウム(TMGa)のガス供給量が低下される。このためGa_{0.5}N_{0.5}層32の頂点部近傍では、原料ガスの供給が過多になることが未然に防止され、その頂点部近傍での結晶性を良好なものにすることができる。また、このように結晶性に優れたGa_{0.5}N_{0.5}層32上に形成される多重量子井戸(MQW)構造の活性層38は、C面方向の成長速度が低減されており、活性層の量子井戸幅が均一で結晶性も良いので閾値低減や発光効率の向上が期待できる。

【0056】なお、上述の各実施形態では、本発明をGa_{0.5}N_{0.5}系半導体発光素子の製造に適用した場合について説明したが、この発明はGa_{0.5}N_{0.5}系電界効果トランジスタ(FET)などのGa_{0.5}N_{0.5}系電子走行素子の製造に適用してもよい。また、上述の各Ga_{0.5}N_{0.5}層の代りにAl_{1-x}Ga_xN層などの窒化物半導体を適宜用いることも可能である。

【0057】

【発明の効果】上述のように、本発明の窒化物半導体の気相成長方法は、時間の経過と共に小さくなる窒化物半導体層の面積に応じて、原料供給量や成長速度が調整されることから、頂点部においてIII族原料の供給過多となることが未然に防止される。その結果、頂点部の結晶性や平坦性を向上させることが可能となり、デバイスの特性向上につながる。特に、選択成長にて形成される

3次元構造を有する素子の場合、特に活性層の室の向上や頂点部の凹凸に起因するようなリーク電流が減少するので、デバイスの特性向上につながる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の窒化物半導体の気相成長方法にかかる窒化物半導体層を選択成長によって成長する場合の時間 t と、窒化物半導体層の面積 S と、制御される原料供給量 X の関係を示すグラフである。

【図2】本発明の窒化物半導体の気相成長方法にかかる窒化物半導体層を選択成長によって成長する場合の時間 t と、窒化物半導体層の面積 S と、制御される成長速度 V の関係を示すグラフである。

【図3】本発明の第1の実施形態の窒化物半導体の気相成長方法の斜視工程断面図であって、Ga_{0.5}N層形成までの斜視工程断面図である。

【図4】本発明の第1の実施形態の窒化物半導体の気相成長方法の斜視工程断面図であって、開口部形成までの斜視工程断面図である。

【図5】本発明の第1の実施形態の窒化物半導体の気相成長方法の斜視工程断面図であって、成長開始後少し時間が経過した時点(t_1)のGa_{0.5}N層選択成長工程の斜視工程断面図である。

【図6】本発明の第1の実施形態の窒化物半導体の気相成長方法の斜視工程断面図であって、頂点部付近までの成長した時点(t_2)のGa_{0.5}N層選択成長工程の斜視工程断面図である。

【図7】本発明の第2の実施形態の窒化物半導体の気相成長方法の斜視工程断面図であって、Ga_{0.5}N層形成までの斜視工程断面図である。

【図8】本発明の第2の実施形態の窒化物半導体の気相

成長方法の斜視工程断面図であって、開口部形成までの斜視工程断面図である。

【図9】本発明の第2の実施形態の窒化物半導体の気相成長方法の斜視工程断面図であって、成長開始後少し時間が経過した時点(t_1)のGa_{0.5}N層選択成長工程の斜視工程断面図である。

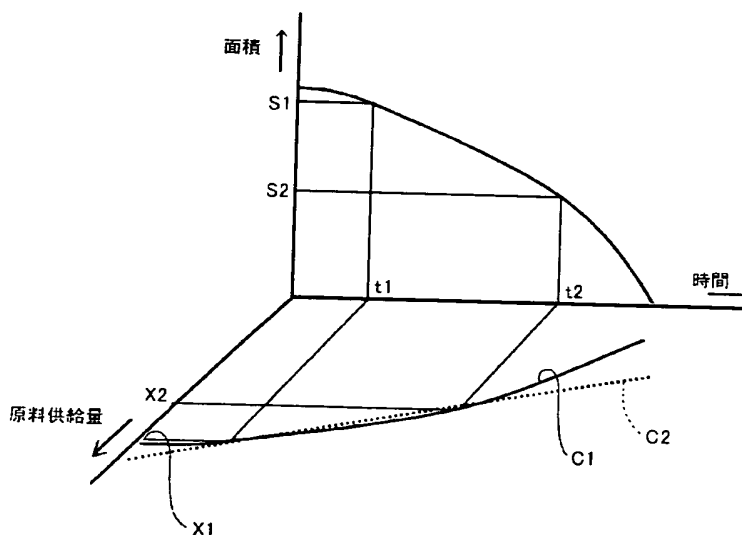
【図10】本発明の第2の実施形態の窒化物半導体の気相成長方法の斜視工程断面図であって、頂点部付近までの成長した時点(t_2)のGa_{0.5}N層選択成長工程の斜視工程断面図である。

【図11】図11はC面上にInGa_{0.5}N/Ga_{0.5}Nの多重量子井戸(MQW)型活性層を有する半導体レーザーの構造を示す斜視断面図である。

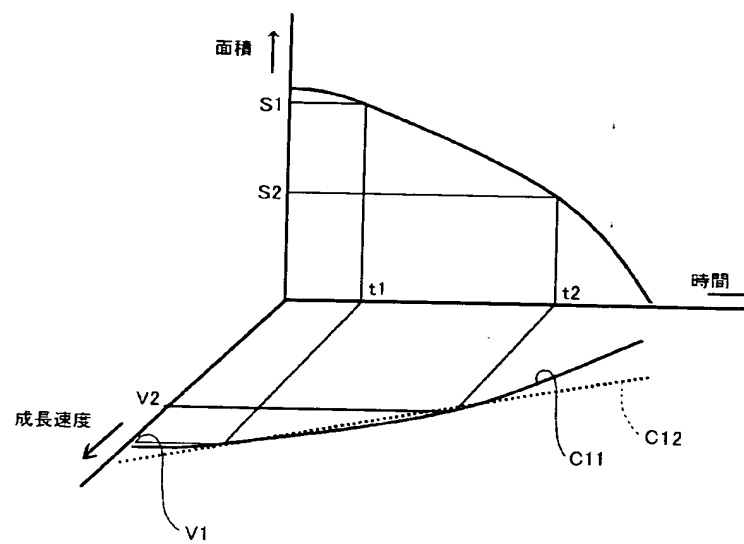
【符号の説明】

- 10、20、30 サファイア基板
- 12、22、31 Ga_{0.5}N層
- 14、24、34 シリコン酸化膜
- 16、26 開口部
- 18、28、32 Ga_{0.5}N層(選択成長)
- 19、29 上面
- 31 n型Ga_{0.5}N層
- 36 n型AlGa_{0.5}Nクラッド層
- 37 n型Ga_{0.5}Nガイド層
- 38 InGa_{0.5}N/Ga_{0.5}N 活性層
- 39 p型Ga_{0.5}Nガイド層
- 40 p型AlGa_{0.5}Nクラッド層
- 41 p型Ga_{0.5}Nコンタクト層
- 42 Ni/Pt/Au電極
- 43 Al/Ti電極

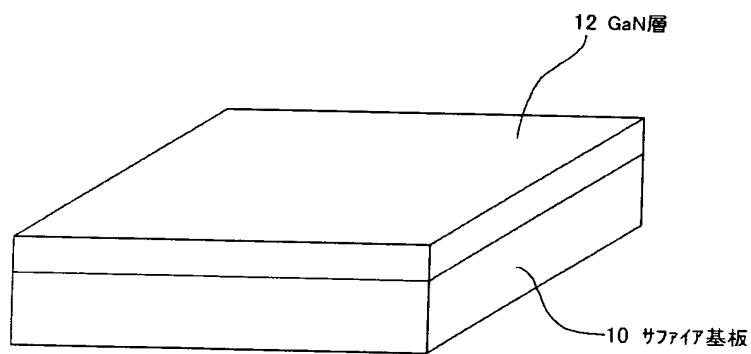
【図1】



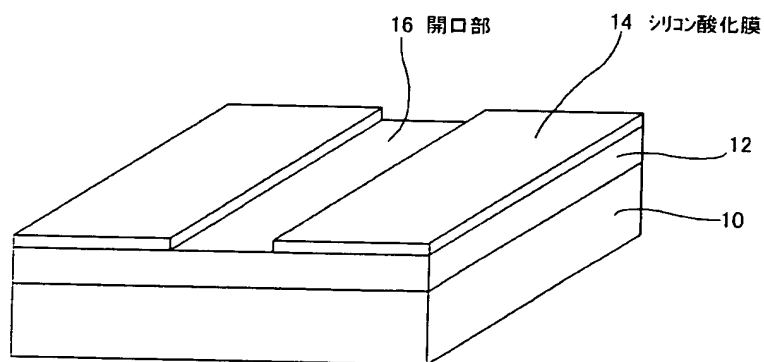
【図2】



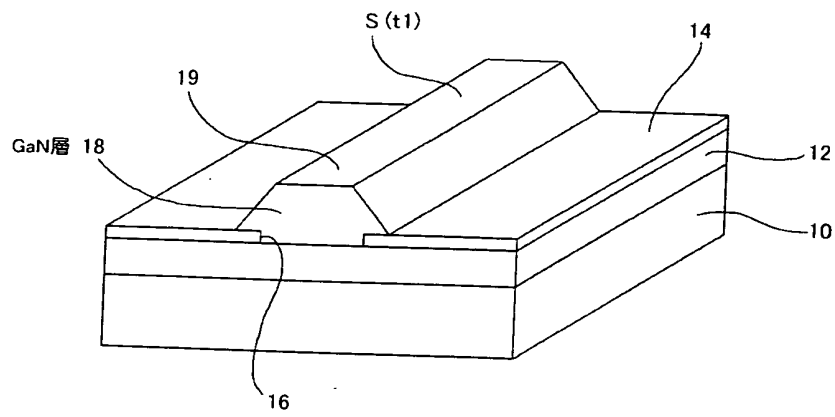
【図3】



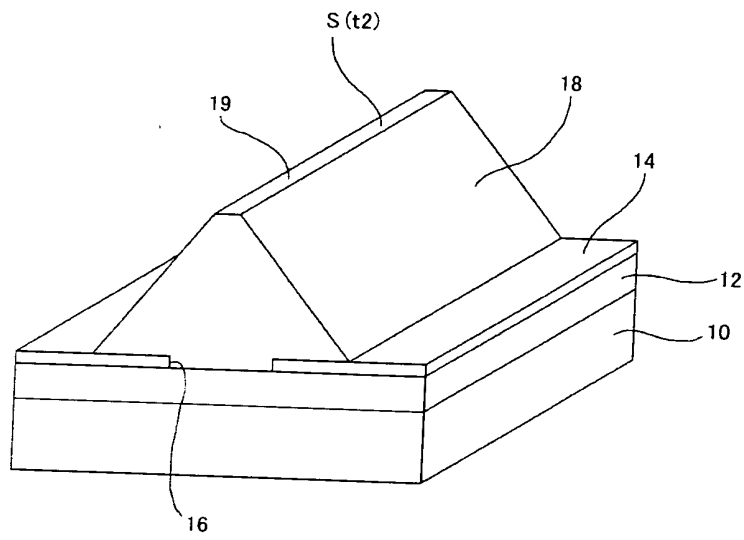
【図4】



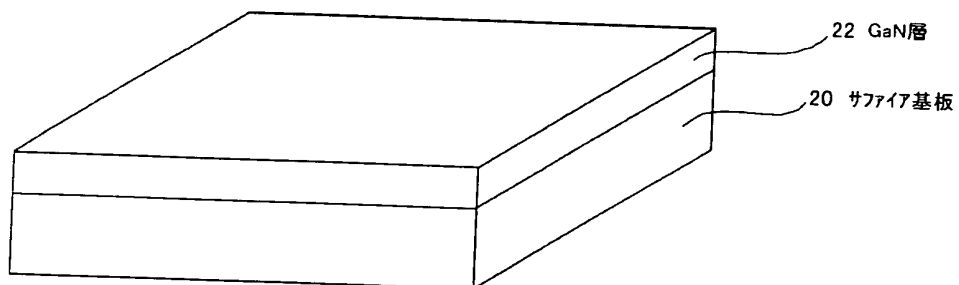
【図5】



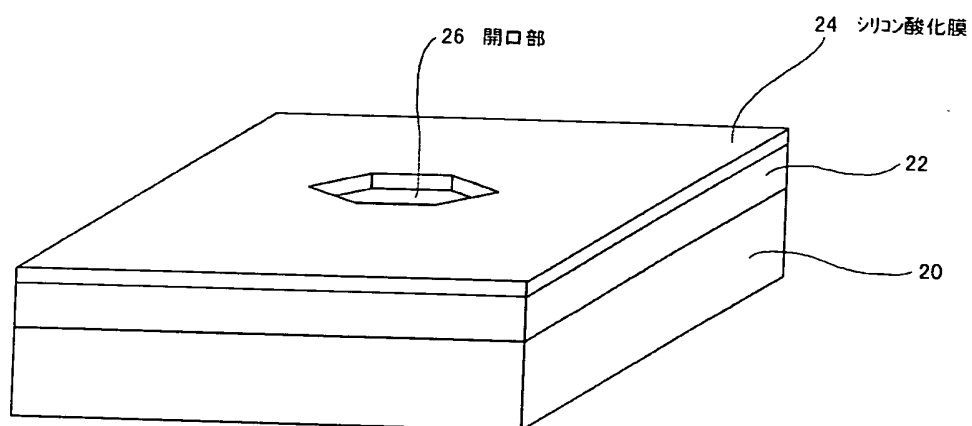
【図6】



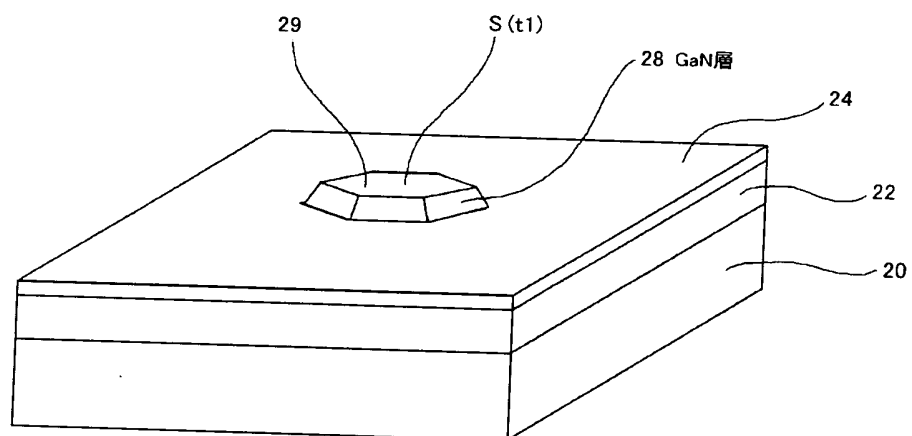
【図7】



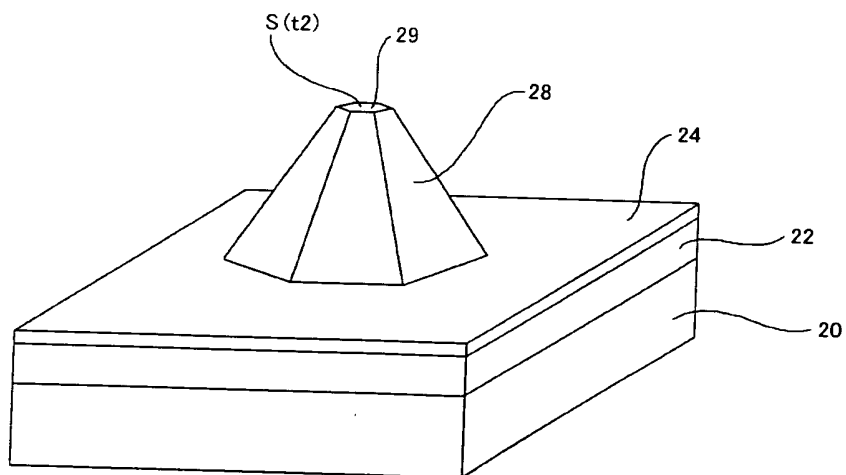
【図8】



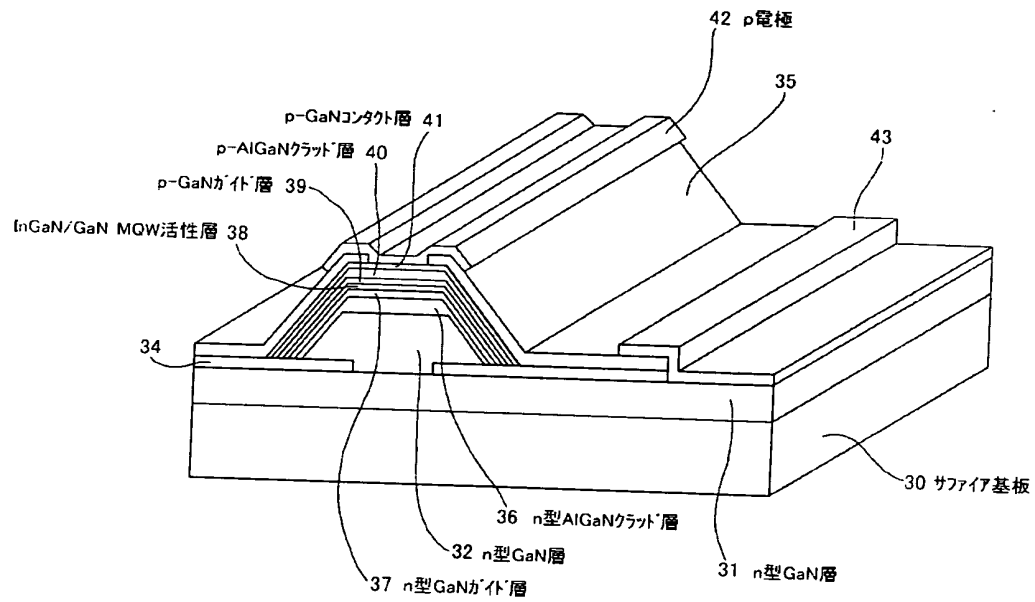
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72) 発明者 土居 正人
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(72) 発明者 大畑 豊治
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA01 CA34 CA49 CA57 CA65
CA85
5F045 AA02 AA04 AA05 AB14 AC08
AC12 AD10 AD11 AD12 AD13
AF04 AF06 AF09 BB12 CA11
CA12 CB01 CB02 DA53 DA54
DA55 DB02 DC62
5F073 AA11 AA74 CA07 CB05 DA05
EA23